

PENERAPAN MODEL *STREET CANYON* HERTEL DAN BERKOWICZ UNTUK MEMPREDIKSI KUALITAS UDARA PADA JALUR TRANSPORTASI DI KAWASAN PERDAGANGAN SURABAYA

Okik Hendriyanto Cahyonugroho

FTSP Jurusan Teknik Lingkungan – UPN “Veteran” Jawa Timur

ABSTRACT

In predicting of carbon monoxide concentrations (CO) coming from emission of gas throw away motor vehicle in Pahlawan street of Surabaya used by street canyon model by Hertel and Berkowicz. Parameter estimation and model verification conducted accomodatedly model to data of concentration measurement of CO in field measurement, meteorology condition (dominant wind direction and speed) and emission of line source which is reckoned by a traffic volume (composition and average speed motor vehicle). Street canyon model by Hertel and Berkowicz cannot be applied directly for predicting of rate of CO ambien at Pahlawan street of street canyon typical. This matter caused by model not include stability factor of atmosphere into its so that happened by deviation between rate of CO measured and CO model. Even though, street canyon model by Hertel and Berkowicz show good accuracy.

Keywords : *pollutant estimation, pollutant concentration, street canyon model.*

ABSTRAK

Dalam memprediksi konsentrasi karbon monoksida (CO) yang berasal dari emisi gas buang kendaraan bermotor di jalan Pahlawan Surabaya digunakan model *street canyon* oleh Hertel dan Berkowicz. Estimasi parameter dan verifikasi model dilakukan dengan menyesuaikan model terhadap data pengukuran konsentrasi CO di lapangan, kondisi meteorologi (kecepatan dan arah angin dominan) dan emisi sumber garis yang dihitung dari volume lalu lintas (komposisi dan kecepatan rata-rata kendaraan bermotor). Model *street canyon street canyon* Hertel dan Berkowicz tidak dapat diterapkan secara langsung untuk memprediksi kadar CO ambien pada jalan Pahlawan yang bertipikal *street canyon*. Hal ini disebabkan karena model tidak memasukkan faktor stabilitas atmosfer ke dalamnya sehingga terjadi simpangan antara kadar CO terukur dan CO model. Walaupun demikian, model *street canyon* Hertel dan Berkowicz menunjukkan keakuratan yang baik.

Kata kunci : Estimasi parameter, konsentrasi polutan, model *street canyon*.

PENDAHULUAN

Kontribusi terbesar pada pencemaran udara di daerah perkotaan adalah pada sektor transportasi. Sumber utama penyebab polusi udara adalah kendaraan bermotor yang menghasilkan emisi polutan seperti CO, NO_x, hidrokarbon, SO₂. Emisi Karbon monoksida dari sektor transportasi ini di Jakarta mencapai 98,8%, Bandung 97,4%, Semarang 98,8%, Medan 99,8% dan di Surabaya 96,8% (Soedomo, 2001). Penyebab meningkatnya CO dalam konsentrasi yang sangat tinggi adalah pada pertigaan dan perempatan lampu lalu lintas, ruang parkir bawah tanah, kemacetan pada suatu jalur kendaraan bermotor/lalu lintas yang berjalan lambat-merayap (kondisi *stop-start*).

Pemodelan kualitas udara dari sektor transportasi merupakan salah satu alat untuk menentukan atau memprediksikan besarnya konsentrasi polutan di udara ambien yang disebabkan oleh kendaraan bermotor. Penggunaan model *street canyon* dapat menjelaskan perilaku penyebaran CO pada bagian-bagian tertentu dalam *street canyon* yang berpotensi menerima paparan CO dalam konsentrasi yang berlebih.

TEORI

Karakteristik Karbon Monoksida

Karbon monoksida merupakan gas yang sangat stabil (*inert*) dan memiliki waktu

tinggal di atmosfer antara 2 – 4 bulan (Wark dan Warner, 1981). Di atmosfer bagian bawah, CO teroksidasi sangat lambat. Frekuensi kejadian reaksi oksidasi adalah kurang dari satu reaksi per 10¹⁵ tumbukan molekul pada temperatur ruang. Reaksi menjadi penting pada temperatur di atas 500⁰C (pada proses fasa gas) dan lebih sering terjadi pada temperatur di atas 100⁰C.

Dampak Karbon Monoksida Terhadap Kesehatan Manusia

Efek terpenting CO adalah berkurangnya transpor oksigen ke dalam jaringan tubuh. Hal tersebut dihubungkan dengan afinitasnya terhadap hemoglobin yang 240 kali lipat dibandingkan afinitas O₂.

Efek tersebut beresiko pada jantung dan sistem syaraf pusat, termasuk juga janin karena suplai O₂ dalam jumlah yang besar diperlukan oleh organ-organ tersebut (Schwela dan Zali, 1999).

Kontribusi Sektor Transportasi Terhadap Pencemaran Udara Perkotaan.

Pencemaran udara perkotaan merupakan dampak sinergetik dari empat sektor kegiatan utama yakni sektor transportasi, permukiman, industri dan persampahan. Dari data emisi perkotaan, sektor transportasi (lalu lintas kendaraan

PENERAPAN MODEL *STREET CANYON*
(Okik Hendriyanto Cahyonugroho)

bermotor) telah menjadi sektor penyebab utama pencemaran udara khususnya di pusat kota-kota besar yang seringkali mengalami hambatan lalu lintas. Faktor penting lain yang turut menentukan intensitas emisi pencemar adalah potensi dispersi atmosfer daerah perkotaan yang sangat tergantung pada kondisi dan perilaku meteorologi.

Model *Street Canyon* Hertel dan Berkowicz

Model berdasarkan penggambaran sederhana dari kondisi dispersi dan aliran yang terjadi dalam *street canyon*. Konsentrasi gas buang kendaraan bermotor dihitung menggunakan kombinasi *plume model* untuk kontribusi langsung (C_d) dan *box model* untuk komponen resirkulasi dari pencemar udara di jalan (Gambar 1).

Konsentrasi polutan dihitung dengan :

$$C = C_d + C_{res} + C_b \dots\dots\dots 1)$$

dengan :

- C_d = Kontribusi langsung
- C_{res} = Komponen resirkulasi
- C_b = Konsentrasi background

Kontribusi langsung (C_d) merupakan konsentrasi polutan dari kendaraan bermotor melalui arah angin secara langsung menuju reseptor. Kontribusi dari masing-masing

sumber garis tersebut menghasilkan konsentrasi yang dihitung dengan rumus :

$$C_d = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{Q}{W \cdot \sigma_w} \cdot \ln \left[\frac{h_0 + (\sigma_w / U_b) W}{h_0} \right] \dots\dots\dots 2)$$

dengan :

- C_d = Kontribusi konsentrasi dari sumber garis (mg/m^3)
- Q = Sumber emisi ($\text{mg}/\text{m}/\text{detik}$)
- W = Lebar jalan (m)
- σ_w = Kec. turbulensi vertikal (m/dt)
- h_0 = Ketinggian dispersi awal ($h_0 = 1$ m)
- U_b = Kecepatan angin di atas permukaan jalan (m/detik)

$$\sigma_w = \sqrt{(0,1 U_b)^2 + (\sigma_{w0})^2} \dots\dots 3)$$

dengan :

- σ_w = Kecepatan turbulensi vertikal (m/detik)
- U_b = Kec. angin di atas permukaan jalan (m/detik)
- σ_{w0} = Kec. turbulensi lalu lintas (m/dt)

$$\sigma_{w0} = b \sqrt{\frac{V_c \cdot N_c \cdot S_c^2 + V_h \cdot N_h \cdot S_h^2}{W}} \dots\dots 4)$$

dengan :

σ_{w0} = Kecepatan turbulensi lalu lintas (m/dt)

V_c, V_h = Kecepatan kendaraan bermotor (m/dt)

N_c, N_h = Jumlah kendaraan

S_c, S_h = Luas daerah horisontal

W = Lebar jalan (meter)

b = Koefisien drag aerodinamika = 0,3

$$U_b = U_t \cdot \frac{\ln(h_0/z_0)}{\ln(H/z_0)} \cdot (1 - 0,2 \cdot p \cdot \sin(\Phi)) \quad \dots 5)$$

dengan :

U_b = Kecepatan angin di atas permukaan jalan (m/detik)

U_t = Kecepatan angin di atas bangunan bertingkat (m/detik)

h_0 = Ketinggian dispersi awal (m)

H = Ketinggian bangunan (m)

z_0 = Faktor kekasaran jalan = 0,6 m

p = H_{receptor} / H

Φ = Sudut arah angin ($^{\circ}$)

Komponen resirkulasi (Cr) merupakan konsentrasi polutan di sekitar *vortex* (pusaran angin) pada daerah resirkulasi. Prinsip utama dalam menghitung Cr adalah laju aliran polutan yang masuk pada daerah resirkulasi sama dengan laju aliran polutan yang keluar dan polutan

tercampur sempurna di dalam daerah resirkulasi.

Kontribusi langsung pada umumnya lebih besar dari komponen resirkulasi. Dengan mempertimbangkan hal tersebut dimana pusaran angin secara total terbenam di dalam *canyon* (dengan $W/H \leq 1$) maka komponen resirkulasi dihitung dengan rumus berikut.

$$C_{\text{res}} = \frac{Q}{\sigma_{\text{wt}} \cdot W} \quad \dots \dots \dots 6)$$

dengan :

C_{res} = Komponen resirkulasi

Q = Sumber emisi (mg/m/detik)

σ_{wt} = Kecepatan ventilasi *canyon* (m/dt)

W = Lebar jalan (m)

$$\sigma_{\text{wt}} = \left[(0,1 \cdot U_t)^2 + (0,46 \cdot \sigma_{w0})^2 \right]^{1/2} \quad \dots 7)$$

dengan :

σ_{wt} = Kecepatan ventilasi *canyon* (m/dt)

U_t = Kecepatan angin di atas bangunan bertingkat (m/detik)

σ_{w0} = Kec. turbulensi lalu lintas (m/dt)

PENERAPAN MODEL STREET CANYON
(Okik Hendriyanto Cahyonugroho)

METODOLOGI

Variabel dan Parameter Penelitian

Dalam penelitian ini, variabel yang diteliti adalah waktu sampling, pengambilan sampel pada kedua sisi jalan dan model *street canyon* yang digunakan untuk memprediksi kadar CO sedangkan parameter yang diteliti adalah konsentrasi karbon monoksida

Penentuan Lokasi Sampling

Lokasi sampling dipilih di Jalan Pahlawan Surabaya sedangkan titik sampling pengukuran kadar CO udara ambien ditetapkan berada di depan yayasan “A” dan gedung “T”.

Pengukuran Kadar CO-Udara Ambien

Pengambilan sampel udara ambien dilakukan dengan menggunakan metoda bag sampling. Sebuah pompa diafragma berkapasitas rendah dipergunakan untuk memasukkan udara ambien ke dalam *plastic sampling bag* berkapasitas 5 liter (Noll dan Miller, 1977). Kalibrasi kecepatan aliran masuk dengan menggunakan flowmeter dilakukan sebelum dan sesudah pengambilan sampel. Hal tersebut dimaksudkan agar kecepatan aliran hisap tetap konstan sepanjang waktu sampling 30 menit. Metode Non Dispersive Infra Red (NDIR) merupakan metode standar pengukuran kadar

CO. Metode ini didasarkan atas absorpsi radiasi infra merah oleh CO.

Penerapan Model

Model dispersi CO pada *street canyon* yang diterapkan telah dikembangkan Hertel dan Berkowicz (2000). Berdasarkan *gauss plume* dan *simple box model* serta mempergunakan data empirik sebuah formula untuk menentukan kadar polutan dari sumber garis (lalu lintas kendaraan bermotor) pada sisi jalan.

Kalibrasi dan Verifikasi Model

Tujuan kalibrasi adalah untuk membandingkan data hasil pengukuran langsung di lapangan dengan data model. Kalibrasi dilakukan dengan mengestimasi parameter - parameter tertentu yang sesuai dengan kondisi di lokasi sampling.

Kalibrasi dilakukan dengan *trial and error* secara berulang-ulang sampai didapatkan nilai parameter yang sesuai yang memberikan nilai error yang terkecil.

Verifikasi dilakukan dengan menghitung nilai error (E), koefisien korelasi (r) dan simpangan baku (Sb) antara data hasil perhitungan model dengan data pengukuran di lokasi sampling. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$E (\%) = \frac{a - b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots 8)$$

dengan : E = nilai error
a = data pengukuran
b = data perhitungan

$$S_b = \sqrt{\frac{(n \sum d^2 - (\sum d)^2)}{n(n-1)}} \dots\dots\dots 9)$$

dengan :
Sb = simpangan baku
d = selisih antara data perhitungan dengan data pengukuran.
n = jumlah data

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - ((\sum x_i)(\sum y_i))}{\left\{ \left[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 \right] \left[n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2 \right] \right\}^{1/2}} \dots\dots 10)$$

dengan : xi = data pengukuran ke-i
yi = data perhitungan ke-i
n = jumlah data

HASIL DAN BAHASAN

Model *Street Canyon* Hertel dan Berkowicz

Verifikasi parameter untuk model *street canyon* Hertel dan Berkowicz dilakukan dengan mencari nilai C model agar diketahui nilai E (error), r (koefisien korelasi) dan Sb (simpangan baku. Nilai C model dihitung dengan menjumlahkan nilai Cd

(kontribusi langsung), C resirkulasi dan Cb (konsentrasi *background*) pada serangkaian data pengamatan hari Senin 29 Maret 2004.

Dari hasil perhitungan didapat nilai C model tiap jam pada hari Senin 29 Maret 2004. Hasil perhitungan tersebut dilakukan juga terhadap serangkaian data hari pengamatan yang lainnya. Verifikasi dan prediksi CO model pada model *street canyon* Hertel dan Berkowicz diperlihatkan pada lampiran H. Besarnya nilai E, r dan Sb untuk masing-masing hari pengamatan berdasarkan model *street canyon* Hertel dan Berkowicz diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai E, r dan Sb berdasarkan model *street canyon* Hertel dan Berkowicz

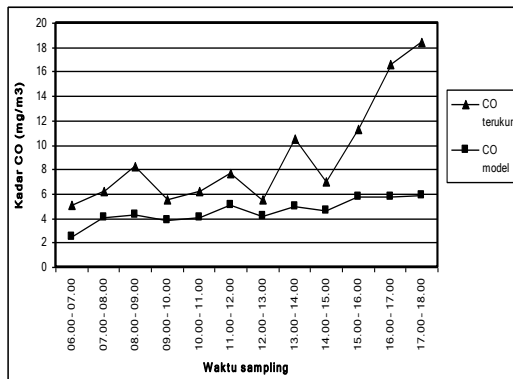
Hari pengamatan	Nilai		
	E	r	Sb
Senin, 29 Maret 2004	46,13	0,73	2,15
Selasa, 30 Maret 2004	47,23	0,75	2,25
Rabu, 31 Maret 2004	44,05	0,83	3,64
Senin, 12 April 2004	51,71	0,93	2,71
Selasa, 13 April 2004	49,21	0,91	2,54
Rabu, 14 April 2004	52,91	0,93	2,71

Sumber : Hasil Perhitungan

PENERAPAN MODEL *STREET CANYON*
(Okik Hendriyanto Cahyonugroho)

Dari Tabel 1 diperlihatkan bahwa prediksi kadar CO pada Jalan Pahlawan dengan menggunakan model *street canyon* Hertel dan Berkowicz cukup baik. Model terlihat agak mendekati hasil pengukuran lapangan hanya pada hari Rabu, 31 Maret 2004 yakni dengan nilai koefisien korelasi, r sebesar 0,83 dengan error, E sebesar 44,05 % dan simpangan baku, S_b sebesar 3,64.

Hasil perbandingan antara kadar CO terukur dan CO model berdasarkan model *street canyon* Hertel dan Berkowicz diperlihatkan pada Gambar 1 di bawah ini.



Gb. 1. kadar CO terukur dan CO model

Hasil perbandingan antara kadar CO terukur dan CO model yang diperlihatkan pada Gambar 1 menunjukkan kecenderungan atau trend yang cukup baik, akan tetapi hasil tersebut juga memperlihatkan adanya suatu simpangan atau ketidak akuratan antara kadar

CO terukur dan CO model baik pada minggu keempat Maret dan minggu ketiga April 2004 pada pukul 06.00 – 18.00. Hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh faktor stabilitas atmosfer yang tidak dimasukkan dalam perhitungan model *street canyon* Hertel dan Berkowicz seperti halnya pada model *street canyon* Hassan dan Crowther.

Faktor stabilitas atmosfer tersebut mempengaruhi hubungan antara kecepatan angin di atas bangunan bertingkat (*roof level wind speed*) dan kecepatan angin di atas permukaan jalan (Rotach, 1995). Kondisi stabil tersebut dapat menyebabkan kecepatan ventilasi jalan mengalami penurunan oleh karena kecepatan angin di atas *canyon* yang rendah dan kemungkinan juga penurunan tersebut disebabkan karena adanya turbulensi. Pada kondisi stabilitas atmosfer yang ekstrim dan kecepatan angin sangat rendah, efek naiknya kepulan atau emisi gas buang akibat kendaraan bermotor menjadi lebih dominan dan lebih penting (Benarie, 1980).

SIMPULAN

Dari hasil pembahasan model didapat suatu kesimpulan bahwa :

1. Model *street canyon* Hertel dan Berkowicz tidak dapat diterapkan secara langsung untuk memprediksi kadar CO ambien pada jalan Pahlawan

yang bertipikal *street canyon*. Hal ini disebabkan karena model tidak memasukkan faktor stabilitas atmosfer ke dalamnya sehingga terjadi simpangan antara kadar CO terukur dan CO model.

2. Walaupun demikian, model *street canyon* Hertel dan Berkowicz menunjukkan keakuratan yang baik
3. Perlu digunakan kalibrasi dan verifikasi model untuk mendapatkan konstanta yang lebih sesuai dengan kondisi lapangan agar suatu model dapat secara langsung diterapkan di lapangan.

PUSTAKA

- Anonim. (1979), **Environmental Health Criteria 13: Carbon Monoxide**, World Health Organization – Geneva.
- Benarie, M.M., (1980), **Urban Air Pollution Modelling**, The Macmillan Press, Ltd
- Berkowicz, R. (2000), **A Simple Model for Urban Background Pollution**, *Environmental Monitoring and Assessment* **65**: 259-267, Kluwer Academic Publisher.
- Environmental Protection Agency. (1993) **User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models**, *Journal of Meteorological Application*,
- Hertel, O., and Berkowicz, R. (2000) **Modelling Traffic – Related Air Pollution in Street Canyons of Beijing**. *Air and Waste Management Association*, ISSN 1047-3289.
- Noll, K. E. and Miller, T. L. (1977) **Air Monitoring Survey Design**. Ann Arbor Science Publishers Inc.
- Rotach, M.W (1995) **Profiles of Turbulence Statistics in and Above an Urban Street Canyon**. *Atmospheric Environment*, **29**, 1473 – 1486.
- Schwela, D. and Zali, O. (1999). **Urban Traffic Pollution**. E and FN Spon.
- Soedomo, M. (2001). **Kumpulan Karya Ilmiah Pencemaran Udara**. Penerbit ITB.
- Stern, A. C. (1976). **Air Pollution Volume I : Air Pollutants, Their Transformation and Transport**. Academic Press.
- Wark, K. and Warner, C. F. (1981). **Air Pollution : Its Origin and Control**. Second Edition. Harper and Row Publishers, Inc.